# CANMET

## RAPPORT 82-17F

Canada Centre for Mineral and Energy Technology

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

# RECHERCHE DE MARCHÉ SUR LES PRODUITS ENRICHIS PROVENANT DES CENDRES VOLANTES

H.S. WILSON ET J.S. BURNS

MAY 18 1984
MICROMEDIA

PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LES MINÉRAUX
LABORATOIRES DES SCIENCES MINÉRALES

SEPTEMBRE 1982

Energy, Mines and Resources Canada
Énergie, Mines et Ressources Canada

Canada

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1984

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés
et autres librairies

ou par la poste au:

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, Canada, K1A 0S9

N° de catalogue M38-13/82-17F
ISBN 0-660-91263-5

Canada: $2.50
à l'étranger: $3.00

Prix sujet à changement sans avis préalable

# RECHERCHE DE MARCHÉ SUR LES PRODUITS ENRICHIS PROVENANT DES CENDRES VOLANTES/BENEFICIATED PRODUCTS FROM FLY ASH: MARKET RESEARCH

par/by

H.S. Wilson* et/and J.S. Burns**

RÉSUMÉ

Selon des recherches effectuées récemment, on a pu démontrer que les cendres volantes peuvent être séparées en fractions granulométriques et en composés, et constituent ainsi une source précieuse de minéraux.

Lors de la présente étude, on a fait l'examen de l'état actuel des connaissances dans le domaine de l'enrichissement des cendres volantes dans le but de récupérer les cénosphères, les composés magnétiques du fer et le carbone. On y traite aussi des méthodes d'enrichissement, des mises en application du produit et des prix possibles sur le marché.

ABSTRACT

Research done in recent years shows that fly ash can be separated into size fractions and components, thus making it a valuable mineral resource.

This study examined the state-of-the-art on the beneficiation of fly ash to recover cenospheres, magnetic iron compounds, and carbon. Methods of beneficiation, applications for products and possible market prices are discussed.

*Chercheur scientifique, Laboratoire de traitement des minéraux, Laboratoires des sciences minérales, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa/Research Scientist, Mineral Processing Laboratory, Mineral Sciences Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa.

**Regina Resources, Vancouver, C.-B./Regina Resources, Vancouver, B.C.

## TABLE DES MATIÈRES


| | Page |
|---|---|
| RÉSUMÉ | i |
| ABSTRACT | i |
| INTRODUCTION | 1 |
| COMPOSÉS DES CENDRES VOLANTES | 4 |
| CÉNOSPHÈRES | 4 |
| Formation et caractéristiques générales | 4 |
| Méthodes de récupération | 4 |
| Marchés potentiels | 6 |
| MAGNÉTITE | 7 |
| Formation et caractéristiques générales | 7 |
| Méthodes de récupération | 7 |
| Marchés potentiels | 8 |
| CARBONE | 8 |
| Formation et caractéristiques générales | 8 |
| Méthodes de récupération | 8 |
| Marchés potentiels | 9 |
| TECHNIQUES DE SÉPARATION COMPLÈTE | 9 |
| ÉTUDE DE RENTABILITÉ | 9 |
| CONCLUSIONS | 10 |
| REMERCIEMENTS | 11 |
| RÉFÉRENCES | 11 |


### TABLEAUX


| N° | | |
|---|---|---|
| 1. | Production et utilisation des cendres volantes au Canada - 1980 | 1 |


### FIGURES


| | | |
|---|---|---|
| 1. | Principales mines de charbon au Canada, 1980 | 2 |
| 2. | Principales centrales thermo-électriques canadiennes chauffées au charbon, 1980 | 2 |
| 3. | Micrographie de cénosphères | 5 |

# INTRODUCTION

Compte tenu du fait que les ressources minérales métalliques et non-métalliques de la terre sont exploitées à un rythme toujours grandissant, il est non seulement logique mais surtout prudent d'examiner la possibilité d'extraire ces ressources des sous-produits de l'industrie. L'usage croissant de charbon dans la génération d'énergie thermo-électrique se traduit par une accumulation de grandes quantités de cendres volantes et de cendres de fond. En 1980, la quantité de cendres volantes ainsi produites s'est élevée à 80 Mt, dont moins de 20% ont été utilisées.

Tableau 1 - Production et utilisation des cendres volantes au Canada - 1980

| Province | Quantité totale des cendres produites* | Quantité des cendres utilisées (tonnes/an) | Utilisation |
|---|---|---|---|
| Nouvelle-Écosse | 135 000 | 12 000 | - cendres des dépoussiéreurs pour décapage et gravillons de toiture |
| Nouveau-Brunswick | 105 000 | nulle | |
| Ontario | 930 000 | 40 000 | - remplacement du ciment |
| | | 100 000 | - stabilisation des déchets |
| | | 36 000 | - routes |
| | | 50 à 200 000** | - projets spéciaux |
| Manitoba | 30 000 | nulle | |
| Saskatchewan | 460 000 | 24 000 | - béton |
| | | 6 000 | - puits de pétrole |
| Alberta | 1 535 000 | 150 000 | - remplacement du ciment |
| | | 70 000*** | - projet spécial |
| Total | 3 195 000 | | |

*Comprend les cendres volantes, les cendres de fond et des scories de dépoussiérage

**Demande irrégulière, en fonction de l'activité dans le domine de la construction

***Approvisionnement temporaire pour la construction du barrage Revelstoke

Sources: E.E. Berry & Associates

Fig. 1 - Principales mines de charbon au Canada, 1980

**Fig. 2 - Principales centrales thermo-électriques canadiennes chauffées au charbon, 1980**

En 1981, les services publics canadiens ont exploité 21 centrales thermo-électriques chauffées au charbon, d'une capacité totale de 16 600 MW. La même année, les centrales thermo-électriques canadiennes ont consommé près de 29,5 Mt de charbon, produisant ainsi environ 3,5 Mt de cendres (1,2 Mt de cendres de fond et 2,3 Mt de cendres volantes) (1). Le tableau 1 présente en détail la production de cendres et la consommation des centrales situées dans les six provinces productrices. Les figures 1 et 2 montrent l'emplacement des mines de charbon au Canada et l'emplacement des centrales thermo-électriques chauffées au charbon.

La construction de trois autres centrales électriques est prévue entre 1982 et 1986, ce qui amènerait la puissance électrique produite par les centrales chauffées au charbon à 18 300 MW. Après 1986, la situation est plutôt incertaine. On prévoit la mise en exploitation d'une centrale thermo-électrique à Genesee, en Alberta, en 1996. Cette centrale devrait produire 2700 MW. On étudie aussi la possibilité de construire une centrale à Hat Creek, en Colombie-Britannique.

Selon les services publics canadiens, la consommation de charbon en 1986 aura augmenté environ de 30% par rapport à 1980. La production totale de cendres augmenterait de 45% pour la même période, ce qui traduit une baisse générale de la qualité du charbon ainsi consommé. L'Alberta, la Nouvelle-Écosse et l'Ontario connaîtront les plus fortes augmentations dans la consommation de charbon et dans la production de cendres. Toutes proportions gardées, c'est la Nouvelle-Écosse qui aurait à faire face aux problèmes les plus graves, étant donné qu'on y prévoit une augmentation de 125% de la production de cendres d'ici 1986. En valeur absolue, la plus forte augmentation est prévue en Alberta, où la production annuelle de cendres passera de 1,5 à 2,5 Mt pour la même période.

Les cendres volantes sont constituées de particules de poussière provenant de la combustion du charbon pulvérisé. Ces cendres étaient auparavant dispersées dans l'atmosphère. De nos jours, et dans la plupart des centrales, les cendres volantes sont recueillies par des dépoussiéreurs électriques et des sacs filtrants. L'examen microscopique démontre que les cendres volantes se composent principalement de particules sphériques de verre. On trouve aussi des sphères à l'intérieur d'autres sphères ainsi que des sphères creuses en verre (cénosphères). Les cendres renferment principalement des sphères magnétiques de couleur foncée et des particules cristallines ainsi que du charbon imbrûlé.

Les cendres volantes ont surtout servi de pouzzolane (substitut partiel du ciment) dans le béton. Il s'agit d'ailleurs de l'usage le plus répandu. Certains constituants d'une cendre donnée nuisent cependant à la qualité de la pouzzolane et d'autres risquent de diluer la fraction active. Certaines fractions de cendres volantes ayant des propriétés de pouzzolane sont potentiellement plus utiles dans d'autres applications si on parvient à les séparer des cendres.

La valeur de la pouzzolane se limite à son usage comme substitut partiel du ciment, c'est-à-dire une matière en vrac peu coûteuse. La valeur marchande de tous les constituants des cendres volantes est inférieure à la valeur du ciment portland. Si l'on séparait la cendre volante en constituants donnés, ayant une valeur propre en fonction de sa valeur marchande, il serait possible d'obtenir un rendement supérieur.

De récentes études démontrent que l'enrichissement des cendres volantes et la séparation en fonction des dimensions des particules et de la nature de ces particules, permet d'augmenter considérablement la valeur de cette ressource minérale.

L'objet de la présente étude est d'examiner l'état actuel des connaissances dans le domaine de l'enrichissement des cendres volantes dans le but de récupérer les cénosphères et autres matières d'apport ainsi que la magnétite et le carbone.

# COMPOSÉS DES CENDRES VOLANTES

## CÉNOSPHÈRES

### Formation et caractéristiques générales

La présence des cénosphères dans les cendres volantes présente une difficulté lors de l'élimination des cendres dans les bassins de sédimentation. Étant donné que les sphères creuses sont plus légères que l'eau, elles ont tendance à flotter sur la surface formant ainsi à l'occasion des couches de plusieurs mètres d'épaisseur. Les cénosphères qui sèchent en surface sont emportées par le vent. Elles sont par ailleurs difficiles à recueillir et à transporter pour traitement ultérieur. La plupart des sociétés recueillent les cénosphères asséchées après remplissage d'un bassin d'entreposage. Des récupérateurs perfectionnés ont été mis au point pour la récupération en milieu humide et certains travaux ont porté sur le traitement direct des cendres volantes sèches provenant de la centrale électrique pour en extraire les cénosphères.

Les cénosphères sont formées par dégagement de gaz carbonique et d'azote dans les particules de verre en fusion dans la chaudière, ce qui entraîne la dilatation des particules. Le gaz ainsi dégagé est catalysé par l'oxyde de fer. Selon Raask, la formation des cénosphères est fonction de la teneur en matière minérale du charbon, du rapport entre le fer et la matière minérale, de la finesse du charbon et de la température de la chaudière (2).

Jan de Zeeuw et Abresch ont établi qu'un important pourcentage de cénosphères ne sont pas de particules flottantes mais restent sous la surface du bassin (3). Ce fait a été corroboré par Joshi qui a établi qu'environ 2,5% des cendres provenant de Forestburg, en Alberta, étaient constituées de cénosphères ayant une densité inférieure à 1,47%, mais que seulement 0,6% de ces cendres avaient une densité inférieure à 1. Cependant, les cénosphères sont couramment considérées comme des particules flottantes. Dans certains cas, les chercheurs ont établi la présence de deux et même de trois sphères à l'intérieur d'une même sphère. Fisher a donné le nom de "plérosphère" aux sphères contenues dans d'autres (4). La densité de ces sphères par rapport à celles des véritables cénosphères (sphères vitreuses creuses) n'a pas été mesurée.

Le diamètre des sphères vitreuses varie de 20 à 200 µm alors que celui des sphères non poreuses varie de 2 à 10 µm. La masse volumique globale varie de 0,25 à 0,35 g/cm$^3$, la masse volumique apparente des particules individuelles variant de 0,4 à 0,6 g/cm$^3$.

De plus amples renseignements sur les caractéristiques des cénosphères sont fournies par O'Keefe, Li, Carpenter et al, Kubo et Hycner (5-9).

La figure 3 illustre trois micrographies par balayage électronique de cénosphères et une micrographie optique.

On s'accorde en général pour dire que les cénosphères se retrouvent exclusivement dans les cendres volantes, quoique divers observateurs ont aussi noté leur présence dans les cendres de fond.

### Méthodes de récupération

Les entreprises établies engagées dans la commercialisation des cénosphères utilisent des méthodes de récupération par écumage de bassins remplis de cendres volantes. Même si l'on considère que ces cénosphères sont à l'état sec au moment de la récupération, elles peuvent cependant renfermer jusqu'à 20% d'eau. À la sortie de l'entreposage, les cénosphères sont séchées et réparties en diverses catégories en fonction des dimensions et des densités. Ces méthodes sont utilisées par l'entreprise de traitement Fillite (Runcorn) Ltd., au Cheshire, en Angleterre et par d'autres entreprises aux États-Unis.

La société Zeelan Industries Ltd., de St. Paul au Minnesota vient d'annoncer la mise au point d'un procédé de traitement à sec des cendres volantes. Selon cette société, le procédé ainsi mis au point est plus efficace. D'autres travaux

Fig. 3 - Micrographie de cénosphères

expérimentaux sur la séparation à sec ont été effectués ailleurs, mais il n'existe aucune autre entreprise commerciale utilisant ce type de procédé. Le plus souvent, la récupération se fait par séparation des autres composés des cendres volantes.

Aucun fournisseur commercial de cénosphères n'a rendu public le détail des procédés qu'il utilise. Un des producteurs fait état des propriétés suivantes:

| | |
|---|---|
| Composition chimique: | $Al_2O_3$: 27 à 33% |
| | $SiO_2$ : 55 à 65% |
| | $Fe_2O_3$: 4% maximum |
| Gamme de masse volumique: | 0,3 à 0,8 |
| Masse volumique globale: | 0,18 à 0,45 |
| Dureté: | 5 (échelle Moh) |
| Épaisseur moyenne de la paroi: | 0,1 diamètre de sphère |
| Température de fusion: | 1200 à 1250°C |
| Conductivité thermique: | 0,09 W/mk |
| Coefficient de dilatation thermique: | $8 \times 10^{-6}$ (°K) |

Marchés potentiels

Les cénosphères servent surtout de produits d'apport dans le domaine industriel grâce aux propriétés suivantes: faible densité; matière inorganique et inerte; bonne résistance thermique; bonne résistance électrique; forme sphérique.

D'autres produits fabriqués à partir de composés vitreux font concurrence aux cénosphères mais ces produits sont coûteux et leur fabrication nécessite de grandes quantités d'énergie.

On se sert des cénosphères de diverses façons: (1) fabrication de béton léger et isolant et de ciments inorganiques; (2) charges de résine; (3) blancs de charge; (4) divers.

1. Béton léger et isolant et ciments inorganiques - L'usage le plus important est dans le domaine des ciments de forage. Selon Harms et Lingenfelter, l'usage de microsphères (cénosphères) à forte résistance, a permis d'obtenir une résistance supérieure par rapport à d'autres additifs de masse volumique plus faible. Ce type de ciment nécessite aussi une plus faible proportion d'eau. D'excellents résultats ont été obtenus à haute température, tels que dans les puits profonds et les applications géothermiques. Par ailleurs, un rendement tout aussi satisfaisant a été obtenu à faible température dans l'Arctique. On est aussi parvenu à améliorer considérablement les propriétés isolantes (10).

Les autres usages de ciment inorganique dont fait état la documentation sont: béton léger; béton renforcé au verre; cimentation; brique; mélanges de perforation; matières réfractaires.

2. Charges de résine - Les charges de résine ont fait l'objet d'une recherche très approfondie et de nombreux brevets ont été délivrés, étant donné que cet usage est, du point de vue du producteur de cénosphères, le plus lucratif. Les prix varient de 0,10$ à plus de 0,45$ par kilogramme en fonction de la dimension des particules et de la densité. L'usage des cénosphères présente les avantages suivants:

- forte résistance des particules;
- plus grande résistance du mélange grâce à une dispersion plus complète;
- forte limite de charge et plus faible contraction de la résine;
- légèreté;
- bonne résistance à l'abrasion;
- matière inerte et stable sur le plan thermique;
- amélioration des caractéristiques d'écoulement.

Les résines chargées de cénosphères ont été utilisées dans les dispositifs de flottaison en eaux profondes. Ces mousses sont utilisées à bord des submersibles de fabrication canadienne.

Des panneaux en sandwich fabriqués avec des cénosphères ont servi à la construction de panneaux décoratifs, rigides et résistants aux chocs. On se sert aussi des cénosphères dans la fabrication d'embarcations en fibre de verre plastique à coque légère et à surface lisse. Les cénosphères entrent aussi dans la fabrication de pièces légères et isolantes en plastique que l'on trouve à bord des avions et des automobiles.

3. Blancs de charge - L'usage de cénosphères dans les solutions de peinture confère au

produit les caractéristiques suivantes:

- meilleur pouvoir de recouvrement par réfraction de l'interface peinture-air;
- faible pouvoir absorbant (faible absorption d'huile);
- résistance au nettoyage et au brunissage.

La consommation annuelle de produits d'apport en Amérique du Nord dépasse les 9 Mt.

4. Usages divers - L'usage de cénosphères dans les garnitures de frein augmente les propriétés isolantes des garnitures, réduisant ainsi le transfert thermique, ce qui se traduit par de meilleures performances au freinage et une usure moins rapide des garnitures. On se sert aussi des cénosphères pour la constitution de surfaces isolantes sèches sur les métaux en fusion et pour la croissance hydrophobe des plantes. Les divers usages possibles des cénosphères sont présentés plus en détail ailleurs dans le texte (11 à 25).

On étudie à l'heure actuelle le marché potentiel de cénosphères au Canada au moyen d'essais qui se déroulent là où il y a production de cendres volantes. Le climat canadien se prête mal à la récupération par écumage en bassin exposé et la séparation à sec de grandes quantités de cendres volantes pour récupérer 1 ou 2% cénosphères risque de ne pas être rentable. Toutefois, il y a lieu de poursuivre les travaux de recherche portant sur la séparation de cénosphères étant donné que le potentiel de commercialisation est très varié.

## MAGNÉTITE

### Formation et caractéristiques générales

Le charbon renferme diverses quantités de fer sous forme de diverses compositions de pyrites ou de silicates. En cours de combustion du charbon, ces composés de fer se convertissent en magnétite, en hématite et en sphères vitreuses magnétiques. La teneur de chaque composé dépend de la composition du charbon et des conditions qui prévalent dans le four et dans la chaudière. La teneur en fer des charbons bitumeux est bien plus élevée que celle des charbons sub-bitumeux. Dans les charbons bitumeux, le fer se transforme principalement en magnétite.

La teneur en fer des cendres volantes produites au Canada varie d'une région à l'autre. Ainsi, les cendres volantes produites dans les régions de l'Ouest renferment 5 à 1% de fer sous forme de $Fe_2O_3$. Les cendres en provenance du charbon bitumeux brûlé par Hydro Ontario renferment environ 16% de $Fe_2O_3$. Dans les Maritimes, les cendres volantes renferment entre 16 et 50% de $Fe_2O_3$.

### Méthodes de récupération

Le premier producteur nord-américain de magnétite extraite de cendres volantes a été l'Hydro Ontario (centrale de Lakeview). Selon Boux, la séparation magnétique du fer s'est faite au moyen d'un séparateur à tambour à aimant permanent. La matière ainsi extraite doit, en fonction du rendement nominal du procédé, contenir jusqu'à 65% de fer (26). On devait ainsi pouvoir extraire 14 000 t à partir d'une charge de 180 000 t de cendres volantes.

Roy et al ont fait état d'une centrale en Ohio qui avait produit 700 t par mois de fraction magnétique à séparation à sec au moyen de trois séparateurs rotatifs à aimant permanent (27). Cette usine n'est plus en exploitation.

Selon Aldrich, une entreprise située à Hatfield Ferry, en Virginie de l'Ouest, produit de la magnétite en quantité commerciale selon un procédé spécialisé (28). Nowak fait état d'un procédé commercial utilisé en Pologne et qui utilise un séparateur électromagnétique en plaques pour l'extraction de la magnétite (29). Le laboratoire du Central Electricity Generating Board de Leatherhead, en Angleterre, exploite un dispositif de séparation de la magnétite composé d'un tube rotatif à aimant permanent. On signale que la société Pilotec Inc. de Winona au Minnesota a entrepris une étude de faisabilité portant sur la séparation commerciale de la magnétite.

On présente ailleurs dans le document d'autres articles et brevets portant sur la séparation de composés de fer des cendres volantes (30 à 34).

Une société ontarienne mène à l'heure actuelle une étude portant sur l'extraction de fer et d'alumine contenus dans les cendres volantes. L'étude a permis de démontrer qu'une forte proportion du fer qui se trouve dans les cendres volantes se présente sous forme d'hématite qui ne peut être séparée par aimantation.

De récents travaux ont été menés pour le compte de CANMET sur les cendres volantes provenant de la centrale Grand Lake au Nouveau-Brunswick, où la teneur en fer s'élève à 46%, surtout sous forme de magnétite (35). La teneur en fer des cendres volantes produites par les centrales thermiques chauffées au charbon de la région des Maritimes est suffisamment élevée pour justifier l'extraction de ces matières à condition de pouvoir mettre au point et éprouver des techniques de séparation qui conviennent au traitement à l'échelle industrielle.

Marchés potentiels

Il existe un marché potentiel important pour la magnétite qui servirait d'agent de nettoyage des charbons métallurgiques dans des séparateurs de solutions lourdes. On compte dans l'Ouest du Canada cinq entreprises situées à proximité des bassins houillers de l'Alberta et des montagnes Rocheuses, en Colombie-Britannique, qui utilisent près de 36 000 t par an de magnétite de moins de 45 µm pour la séparation lourde, à raison de 55$ à 80$ la tonne, et ce pour le traitement d'environ 16 Mt de charbon.

La magnétite peut aussi servir au lavage du charbon dans les provinces maritimes, où une entreprise utilise 5000 à 6000 t par an de magnétite qu'elle doit importer des États-Unis à environ 70$ la tonne.

Saeuberlich et Richter ont étudié la façon d'utiliser de l'oxyde de fer extrait des cendres volantes de lignite pour la production de fonte brute (36). Il existe un brevet japonais portant sur l'usage de l'oxyde de fer extrait de cendres volantes pour la fabrication de ciment (37).

CARBONE

Formation et caractéristiques générales

Le charbon imbrûlé ou carbonisé, provenant de la combustion incomplète du charbon, se dégage avec les cendres volantes sous forme de particules discrètes. Les photographies prises au microscope électronique montrent bien que la structure de la matière est fortement vacuolaire. Les études ont démontré que le carbone est "activé" par le traitement thermique et qu'il réagit avec un grand nombre de matières organiques.

La teneur en carbone des cendres volantes est fonction du type de charbon. La lignite et les charbons sub-bitumineux produisent moins de 1% de carbone. Par ailleurs, les charbons bitumineux peuvent laisser des résidus de carbone de plus de 10%. La finesse du charbon broyé ainsi que les conditions qui prévalent dans le four peuvent aussi influer sur le pourcentage de carbone résiduel.

Méthodes de récupération

Il n'existe pas, à l'échelle commerciale, de procédé d'extraction du carbone à partir des cendres volantes; certains travaux en unité-pilote ont cependant été réalisés. L'usine de séparation de Lakeview en Ontario avait été conçue pour la récupération de carbone par tamisage à sec. Les particules de cendres volantes de plus de 150 µm ont une plus forte teneur en carbone. Selon Boux, il est possible de recueillir 3000 t de carbone de plus de 150 µm à partir de 200 000 t de cendres volantes (26).

Stemerowicz et Bruce ont étudié les procédés de séparation du carbone par flottation (38). Ces travaux démontrent qu'il est possible d'extraire le carbone par flottation dans du kérosène.

Hurst et Styron ont fait état d'un procédé de séparation de tous les composés que l'on trouve dans les cendres volantes (39). Ce procédé de flottation au kérosène et à l'essence de pin a permis d'obtenir des échantillons d'une teneur maximale de 75% de carbone.

Inculet et al ont entrepris des études en unité-pilote pour l'extraction de carbone des cendres volantes par séparation électrostatisque (40). Dans ce procédé, les cendres volantes sont fluidisées et chargées par triboélectricité. Les particules de carbone portent alors une charge positive et les cendres volantes, une charge négative. Le carbone se dépose sur la cathode.

Burns et al ont démontré que le carbone dans les cendres volantes se présente sous forme activée (41). Auparavant, d'autres études ont démontré que les cendres volantes à forte teneur en carbone offrent la possibilité de réduire la demande en oxygène des réactions chimiques et biologiques qui ont lieu dans les procédés de traitement des déchets et dans l'extraction de cyanure à partir de l'or.

Marchés potentiels

Dans ses travaux, Boux traitait le carbone récupéré comme combustible (26). Pour Hurst et Styron, ce carbone pouvait servir de produit d'apport dans la fabrication du caoutchouc et comme carbone activé.

Le carbone extrait des cendres volantes devrait être destiné au marché de carbone activé et ne pas servir de combustible. Le carbone nodulisé (2,36 mm à 850 µm) utilisé à cette fin se vend à environ 2$/kg, FAB Vancouver. La majorité du carbone activé utilisé au Canada est importé. En 1981, le Canada a importé 5 377 030 kg de carbone activé, pour une valeur de 7 489 000$, soit à 1,39$/kg; 83% de cette quantité provenait des États-Unis, le reste venant des Pays-Bas, de l'Allemagne de l'Ouest, de la Grande-Bretagne et du Japon.

## TECHNIQUES DE SÉPARATION COMPLÈTE

Les seules techniques détaillées de séparation de tous les composés des cendres volantes sont celles présentées par Boux (26) et Hurst et Styron (39). Jan de Zeeuw fait état du début de travaux dans ce domaine (3). Aucun des deux procédés n'est exploité à l'heure actuelle. Il y a lieu d'entreprendre des travaux de recherche pour établir le rendement d'un procédé sec-humide. Dans les travaux de Hurst et Styron, la valeur des cendres volantes a été multipliée par 5 (39).

## ÉTUDE DE RENTABILITÉ

Pour entreprendre une étude de rentabilité, il faut d'abord connaître l'emplacement de l'usine, sa dimension, les proportions de composés et les méthodes de traitement qui varient d'un cas à un autre. Dans la présente analyse, l'étude de rentabilité ne peut donc être fondée que sur les prix des composés des cendres volantes en 1981. Les valeurs des différents composés sont établies comme suit: cénosphères, 0,77$/kg; magnétite, 0,08$/kg; carbone activé, 1,5$/kg; fractions classées (produits d'apport), 0,55$/kg; autres pouzzolanes, 0,02$/kg. On présente ci-après une ventilation hypothétique des valeurs des composés de cendres volantes provenant de trois régions du Canada.

Le marché des produits d'apport représente une part importante de la valeur des produits enrichis là où l'usage de cendres volantes devient une pratique établie. Un important effort de commercialisation devra être déployé avant de pouvoir atteindre les valeurs citées plus haut.

| Produit | Prix unitaire/kg | Pourcentage des quantités récupérables | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Ontario | Alberta | Nouvelle-Écosse |
| Carbone | 1,50$ | 7,5 | - | 3,0 |
| Magnétite | 0,08 | 10,0 | - | 25,0 |
| Cénosphères | 0,77 | 0,5 | 2,0 | 1,0 |
| Produits d'apport | 0,55 | 30,0 | 50,0 | 20,0 |
| Pouzzolanes (reste) | 0,02 | 52,0 | 48,0 | 51,0 |
| Valeur par tonne enrichie | | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| | | 299,75$ | 300,00$ | 192,90$ |

Tel qu'on le mentionnait précédemment, les importations de carbone activé se sont élevées en 1981 à 5,4 Mt, ce qui représente une valeur de 7,5 millions de dollars. Les importations de magnétite destinées au lavage du charbon et à d'autres usages se sont élevées à 20 000 t, soit 1,6 millions de dollars, alors que les importations de perles de verre se sont élevées à près de 600 000$ en 1980. On importe aussi d'autres produits d'apport qui servent à diverses fins, mais il est impossible d'établir les proportions qui pourraient être remplacées par les cendres volantes. De nombreux produits contenant des matières d'apport nécessitent l'usage de blancs de charge. Pour la plupart de ces produits, il n'est pas possible d'utiliser les cendres volantes.

# CONCLUSIONS

La réévaluation de nos ressources minérales a débouché sur l'étude de l'utilisation de certains sous-produits comme matières premières entrant dans la fabrication de divers produits. Les cendres volantes que produisent les centrales électriques chauffées au charbon constituent une source possible de produits d'apport et d'additifs dont peuvent se servir les industries du forage et des plastiques et les fabricants de peinture ainsi qu'une source de carbone activé qui sert dans divers procédés de purification et une source de magnétite utilisée pour le lavage de charbons métallurgiques et thermiques.

Compte tenu de leur légèreté et de leur nature inerte, les cénosphères (composés ultra-légers des cendres volantes) entrent de plus en plus souvent dans la fabrication de ciment de forage, de résine isolante et, en général, de produits d'apport légers et inertes. On commence aussi à se servir d'autres composés sphériques des cendres volantes, en fractions bien précises, comme produits d'apport dans la fabrication de résine et de peinture à coefficient de charge élevé.

On a réussi à extraire la magnétite des cendres volantes par traitement humide et à sec. La magnétite ainsi extraite sert efficacement au lavage du charbon. Il existe un marché important pour ce produit.

Quoique l'extraction du carbone puisse se faire par traitement humide et à sec, il n'existe à l'heure actuelle en Amérique du Nord aucun procédé d'exploitation. Il existe néanmoins une demande importante et croissante pour le carbone activé. L'exploitation de ce marché promet d'être assez rémunératrice.

Il est recommandé d'étudier plus à fond les procédés d'enrichissement humide et à sec.

L'étude théorique de rentabilité des fractions de cendres volantes démontre qu'il est

possible d'augmenter de 6 à 10 fois la valeur marchande des cendres volantes, et ce en fonction du prix de vente. Il n'est pas possible de calculer le bénéfice net qui peut être réalisé par l'enrichissement des cendres volantes, étant donné qu'il n'existe pas de méthode de séparation pouvant faire l'objet d'une étude et que les données relatives au transport et à l'équipement d'usine ne sont pas connues. Il serait possible de remplacer les produits d'importation par les produits découlant de l'enrichissement des cendres volantes, ce qui permettrait d'améliorer l'équilibre de la balance commerciale.

## REMERCIEMENTS

La présente étude a été effectuée par J.S. Burns, anciennement directeur de la recherche et du développement de la société Genstar Conservation Systems Ltd. Cette étude avait été demandée par le ministère des Approvisionnements et Services, contrat N° OSQ81-00117.

## RÉFÉRENCES

1. Berry, E.E. "Coal ash in Canada"; extrait d'un rapport présenté à la Conférence EPRI, Palo alto, CA; 1982.

2. Raask, E. "Cenospheres in PFA"; J Inst Fuel 41:332; 1968.

3. Jan de Zeeuw, H. et Abresch, R.V. "Cenospheres from dry fly ash"; compte rendu du quatrième symposium international sur les cendres volantes 386-395; 1976.

4. Fisher, G.L., Chang, D.P.Y. et Brummer, M. "Fly ash collected from electrostatic precipitators: microcrystalline structures and the mystery of the spheres"; Science 76:192:553-555; 1976.

5. O'Keefe, J. "Cenospheres from ponded ash"; présenté à l'occasion du quatrième symposium international sur les cendres volantes; 1976.

6. Li, C.L. "Fly ash cenospheres"; Huan Ching K'o Hseuh J 1:4:4-72; 1980.

7. Carpenter, R.L., Clark, R.D. et Su, Y-F. "Fly ash from electrostatic precipitators: characterization of large spheres"; J Air Pollut Control Assoc 30:6; 1980.

8. Kubo, T. "Hollow microspheres-bubbles"; Kagaku Kogyo Pub 24:6,7,8,9; 1973.

9. Hycnar, J. "Microspheres - their occurrence, properties and uses"; Energetyka Pub 33:9; 1979.

10. Harms, W.M. et Lingenfelter, J.T. "Microspheres cut density of cement slurry"; Oil Gas J 79:5; 1981.

11. Lundquist, E.S. et Lussi, E.F. "Elastic flexible foam material"; brevet suédois 2530657; 1976.

12. Johnson, A.A., Mukherjee, K. et Wald, M.S. "Industrial applications of fly ash cenospheres"; Proc Buhl Int Conf Mater 466-76; 1971.

13. Ehrenreich, L.C., Katz, H.S. et Milewski, J.V. "Investigation of composites utilizing low-cost small diameter spheres as a filler"; SPI Reinforced Plastic Comp Inst 33 Proc; 1978.

14. Nitta Belting Co. Ltd., "Lightweight plastic boards"; brevet japonais 80150362; 1980.

15. Shimizu, H., Yabuucki, M., Hamasato, K. et Beruto, N. "Nonflammable lightweight composite material"; brevet japonais 2933095; 1981.

16. Massey, D.H. "Organic-inorganic foamed foam"; brevet des États-Unis 3917547; 1974.

17. Russak, M.A., Tobin, A. et Feldman, C. "Development and characterization of a closed pore insulation material"; Am Ceram Soc Bull 55:5:504-507; 1976.

18. Graystone, J.A. "Fiber-reinforced concrete"; brevet britannique 2240006; 1973.

19. Majumdar, A.J. "Improvements in and relating to fiber-reinforced composites"; brevet britannique 1514239; 1978.

20. West, J.M., Majumdar, A.J. et DeVekey, R.C. "Lightweight glass-reinforced cement"; Composites 11:1:19-24; 1980.

21. Wash. State Univ. "Lightweight inorganic material"; brevet britannique 1448320; 1976.

22. Raff, R.A.V. et Austin, H.F. "Lightweight inorganic material"; brevet canadien 1039758; 1978.

23. Okuno, K. et Woodhams, R.T. "Soc Plastic Eng"; Tech Paper 20:583-586; 1974.

24. Shimizu, H., Yabuuchi, M. et Hamasato, K. "Self-quenching lightweight composite materials"; brevet japonais 2936485; 1981.

25. Jewad, M.A., Smith, I.E. et Probert, S.D. "Thermal conductivity of pulverized fuel ash cenospheres"; Appl Energy 2:1:67-77; 1976.

26. Boux, J.F. "Canadians pioneer new fly ash processing system"; Miner Process 10:3; 1969.

27. Roy, M.K., Murtha, M.J. et Burnet, G. "Use of the magnetic fraction of fly ash as a heavy medium material in coal washing"; Proc 5th Int Ash Util Symp; 1979.

28. Aldrich, R.G. et Zacharias, W.J. "Fly ash magnetite - a commercial realization"; Proc 6th Int Ash Util Symp; 1982.

29. Nowak, Z. "Iron and alumina extraction from power plant fly ash in Poland"; Noyes Data Corp. Pollution Technical Review 48; 1978.

30. Bartoszek, B. et al "Concentrates of iron oxides from flue dusts"; brevet polonais 48027; 1964.

31. Joppa, E.L. "Heavy medium for gravity separation"; brevet des États-Unis 3021282; 1962.

32. Brown, J.W. "Process for recovering magnetite from fly ash - slurrying, magnetic separation, crushing, drying"; brevet des États-Unis 4191336; 1978.

33. Krejcirik, L. et Zahradnik, K. "Recovery of Fe from power plant ash"; Chem Prumysl 16:6:329-336; 1966.

34. Babchan, Y. et Kreichirzhik, L. "Recovery of iron from coal ash at power stations"; Obagashch Rud 12:1:14-15; 1967.

35. Berry, E.E. "Chemical and physical properties of fly ash with an unusually high iron content"; Rapport de Division MRP/MSL 77-161; CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1977.

36. Saluberlich, K. et Richter, K.H. "Combustion residues from lower Lusatian lignite as a raw material for pig iron production"; Freiberg Forschungsh A 326:7-16; 1964.

37. Koho, K.T. "Iron removal from coal ash for cement manufacture"; brevet japonais 8117960; 1981.

38. Stemerowicz, A. et Bruce, R.W. "Flotation as a method for carbon removal from Ontario Hydro fly ash"; Rapport de Division MRP/MSL 75-13(IR); CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1975.

39. Hurst, V.J. et Styron, R.W. "Fly ash for use in the industrial extender market"; Proc 5th Int Ash Util Symp; 1979.

40. Inculet, I.I., Bergougnou, M.A. et Brown, J.D. "Electrostatic separation of particles below 40 micron in a dilute phase continuous loop"; Inst Elect Electron Eng Trans 1A-13:4; 1977.

41. Burns, J.A., Guarnaschelli, C. et McAskill, N. "Controlling the effect of carbon in fly ash on air-entrainment"; Proc 6th Int Fly Ash Util Symp; 1982.

**SONDAGE**

L'opinion des lecteurs intéressés peut influencer l'orientation future des recherches à CANMET.

Nous vous invitons, donc, à évaluer le rapport - n° _____

| | | |
|---|---|---|
| Est-il utile? | Oui ____ | Non ____ |
| Traite-t-il d'un problème de l'industrie? | Oui ____ | Non ____ |
| Le sujet est-il prioritaire? | Oui ____ | Non ____ |

Commentaires _____

_____

_____

Postez à: Rédacteur de CANMET, EMR, 555, rue Booth,
Ottawa, Ontario, K1A 0G1

Une copie gratuite de la REVUE DE CANMET sera envoyée sur demande.

## CANMET REPORTS

Recent CANMET reports presently available or soon to be released through Printing and Publishing, Supply and Services, Canada (addresses on inside front cover), or from CANMET Publications Office, 555 Booth Street, Ottawa, Ontario, K1A 0G1:

Les récents rapports de CANMET, qui sont présentement disponibles ou qui le seront bientôt peuvent être obtenus de la direction de l'Imprimerie et de l'Edition, Approvisionnements et Services Canada (adresses au verso de la page couverture), ou du Bureau de vente et distribution de CANMET, 555, rue Booth, Ottawa, Ontario, K1A 0G1:

81-13E MA-2: A certified gold reference ore; H.F. Steger and W.S. Bowman;
Cat. No. M38-13/81-13E, ISBN 0-660-11149-7; Price: $2.50 Canada, $3.00 other countries.

82-1E Silica fume in concrete - preliminary investigation; G.G. Carette and V.M. Malhotra;
Cat. No. M38-13/82-1E, ISBN 0-660-11181-0; Price: $6.50 Canada, $7.80 other countries.

82-2E Impact of excessive aromatics in oil sand syndrudes on production and quality of middle distillate fuels; M.F. Wilson;
Cat. No. M38-13/82-2E, ISBN 0-660-11157-8; Price: $2.75 Canada, $3.30 other countries.

82-4E The chemistry, generation and treatment of thiosalts in milling effluents - A non-critical summary of CANMET investigations 1976-1982; edited and compiled by M. Wasserlauf and J.E. Dutrizac;
Cat. No. M38-13/82-4E, ISBN 0-660-11276-0; Price: $9.00 Canada, $10.80 other countries.

82-6E BL-2a and BL-4a: Certified uranium reference ores; H.F. Steger, W.S. Bowman and G. Zechanowitsch and R. Sutarno;
Cat. No. M38-13/82-6E, ISBN 0-660-11179-9; Price: $4.95 Canada, $5.95 other countries.

82-7E Small-scale continuous selective flotation of a New Brunswick massive sulphide ore; A.I. Stemerowicz, T.F. Berry, R.H. Bredin and G.W. Leigh;
Cat. No. M38-13/82-7E, ISBN 0-660-11247-7; Price: $5.50 Canada, $6.60 other countries.

82-8E Canadian R&D studies of partially briquetted coke oven charges; J.T. Price, J.F. Gransden and W.R. Leeder;
Cat. No. M38-13/82-8E, ISBN 0-660-11217-5; Price: $4.50 Canada, $5.40 other countries.

82-9E CANMET Review 1981-82; Staff of Technology Information Divison;
Cat. No. M38-13/82-9E, ISBN 0-660-11310-4; Price: $5.00 Canada, $6.00 other countries.

82-9F Revue de CANMET 1981-82; Staff of Technology Information Divison;
Cat. No. M38-13/82-9F; ISBN 0-660-91054-3; Price: $5.00 Canada, $6.00 other countries.

82-11E Summaries of CANMET energy research contracts; compiled by T.P. Lanzer;
Cat. No. M38-13/82-11E; ISBN 0-660-11327-9; Price: $6.75 Canada, $8.10 other countries.

82-14E MP-1a: A certified reference ore; H.F. Steger and W.S. Bowman;
Cat. No. M38-13/82-14E; ISBN 0-660-11234-5; Price: $2.50 Canada, $3.00 other countries.

83-3E Certified reference materials; compiled by H.F. Steger;
Cat. No. M38-13/83-3E; ISBN 0-660-11338-4; Price: $5.25 Canada, $6.30 other countries.

83-3F Matériaux de référence; compilé par H.F. Steger;
Cat. No. M38-13/83-3F; ISBN 0-660-91047-0; Price: $5.25 Canada, $6.30 other countries.